Walter Leandro Dias Olivier Alves

PROJETO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL CONECTADO À REDE

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.
Orientador: Prof. Renato Lucas Pacheco, Dr.

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC.

Alves, Walter Leandro Dias Olivier
PROJETO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL CONECTADO À REDE / Walter Leandro Dias Olivier Alves ; orientador, Renato Lucas Pacheco, 2018.
65 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Elétrica. 2. microgeração fotovoltaica. 3. geração de energia fotovoltaica. 4. energias renováveis. I. Pacheco, Renato Lucas. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

Walter Leandro Dias Olivier Alves

PROJETO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL CONECTADO À REDE

Este Trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica e aprovada em sua forma final pela Banca Examinadora

Florianópolis, 27 de junho de 2018.

Prof. Renato Lucas Pacheco, Dr.
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:

Prof. Renato Lucas Pacheco, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Hans Helmut Zurn, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Engº Eletricista Max Barbonaglia Sathler Figueredo
Engie Geração Solar Distribuida

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de faculdade e a minha querida Família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha família em especial minha mãe Rosalina Ramires Dias e minha irmã Gabriela Dias Holz que sempre me apoiaram e me possibilitaram a possibilidade de estudar.

Ao meu professor e orientador Renato Lucas Pacheco pela paciência e incentivo na conclusão do curso.

Aos meus amigos de faculdade em especial, Gustavo Schmitt, Katiane Brustolon, Marcos Aurélio e Vanderleia Ferraz pela amizade e apoio durante todo o curso de graduação.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder entusiasmo.” - Winston Churchill

RESUMO

Este trabalho tem como objeto de estudo a microgeração de eletricidade residencial por sistemas fotovoltaicos. Inicia-se com um contexto histórico, passando pelas primeiras aplicações e os principais conceitos da tecnologia envolvida, finalizando com um estudo de caso na região de Joinville-SC.

Demonstra-se aqui as etapas de estudo e implementação de um sistema fotovoltaico residencial, incluindo uma contextualização das leis referentes a este tipo de geração. Como resultado, avalia-se as questões econômicas do projeto, apresentando a taxa de retorno de investimento do mesmo.

Palavras-chave: microgeração fotovoltaica; geração de energia fotovoltaica; energias renováveis.

ABSTRACT

This work has as object of study a microgeneration of residential electricity by photovoltaic systems. It begins with a historical context, going through the first applications and the main concepts of the technology involved, ending with a case study in the region of Joinville-SC.

It demonstrates here the steps of study and implementation of a residential photovoltaic system, including a contextualization of the laws regarding this type of generation. As a result, the economic issues of the project are evaluated, presenting the rate of investment return of the project.

Keywords: photovoltaic microgeneration; photovoltaic power generation; renewable energy.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
Chesf - Companhia Hidroelétrica do São Francisco
EUA – Estados Unidos da América
GD – Geração Distribuída
IEA - International Energy Agency
LED - Light Emitting Diode
PRODEEM - Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios
NASA – National Aeronautics and Space Administration
OPEP – Organização dos Países Exportadores de Petróleo
RN – Resolução Normativa
SIN – Sistema Integrado Nacional
TIR – Taxa Interna de Retorno

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

1.1 Visão Geral do Trabalho

A energia é um dos produtos mais importantes e essenciais para o homem e está relacionada a praticamente todas as suas atividades e necessidades. Ela alimenta os sistemas de aquecimento, sistemas de iluminação, transportes, todo tipo de equipamento para fabricação de produtos e sistemas de informação. A forma mais versátil de energia é a elétrica. Ela pode ser facilmente transformada, transportada e é produzia a partir de todas as outras formas de energia.

Atualmente, a nível mundial, cerca de 76,9% do total da eletricidade disponível ainda é gerada por fontes não renováveis como carvão e derivados de petróleo (EPE, 2018). Essas fontes são responsáveis por inúmeros problemas ao meio ambiente, como o aquecimento do planeta por efeito estufa, a poluição das águas de rios e mares e também do ar que se respira.

O crescimento populacional, o aumento da atividade econômica e ainda a migração de sistemas, como a substituição da motorização de veículos a combustão para motores elétricos, fazem a demanda de energia elétrica crescer de forma acelerada.

A busca por soluções sustentáveis de produção de eletricidade é atualmente uma prioridade em todos os lugares do mundo. O Brasil, diferentemente da maior parte dos países, já possui tradição na produção de energias renováveis. No país, cerca de 68% da eletricidade produzida é oriunda de usinas hidroelétricas (EPE, 2018). Mesmo que a geração hidroelétrica seja considerada uma forma renovável de produção de energia elétrica, essa modalidade de geração possui diversas complicações. Primeiro, a instalação de uma usina hidroelétrica está condicionada a lugares específicos onde haja condições necessárias de relevo e de vazão água. Os lugares propícios à instalação de uma usina hidrelétrica normalmente estão afastados dos centros consumidores, o que eleva os custos relacionados à transformação de tensão e à transmissão a longas distâncias e, consequentemente, às perdas no sistema. Ainda existem os problemas relacionados a licenças ambientais, e o deslocamento de populações atingidas por áreas alagadas em decorrência da instalações de barragens, o que faz com que os projetos tenham um tempo excessivamente longo para sua execução.

Atualmente, busca-se o modelo de geração distribuída. Nesta modalidade, geradores de menor porte, classificados como mine ou microgeração, são conectados próximos ou junto a carga. Essa é uma opção de rápida inserção e alivia a sobrecarga nos alimentadores e transformadores de distribuição, reduzindo investimentos na infraestrutura da rede elétrica. Dentre as opções possíveis na microgeração de energia, os sistemas fotovoltaicos parecem ser a melhor opção em território brasileiro. O Brasil, em todo seu território, apresenta índices de radiação solar superiores aos encontrados em países onde essa tecnologia já é bem difundida, como na Alemanha, Japão e EUA (RÜTHER, 2004).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é estudar a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos residenciais, classificados como microgeração, conectados à rede de distribuição de energia.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Tratar dos conceito básicos da energia fotovoltaica;
- Descrever as etapas de um projeto de sistema fotovoltaico;
- Analisar o tempo de retorno do investimento.

1.3 Metodologia

A metodologia de pesquisa deste trabalho consiste em uma revisão bibliográfica de um estudo de caso.

Revisão bibliográfica é parte de um projeto de pesquisa que revela explicitamente o universo de contribuições cientificas de autores sobre um tema especifico (SANTOS e CANDELORO, 2006).

O estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado, tarefa praticamente impossível mediante os outros tipos de delineamentos considerados (GIL, 2002, p.54).

As fontes de pesquisas utilizadas foram manuais e livros técnicos, além das legislações pertinentes ao tema, teses e dissertações.

1.4 Descrição dos Capítulos

No Capítulo 1 é mostrada uma visão do trabalho, incluindo o tema em si, seus objetivos geral e específicos, a metodologia empregada e a descrição da forma de apresentação.

O Capítulo 2 descreve a geração fotovoltaica, buscando o estado da arte. Explica a origem da energia solar, a forma como chega ao planeta Terra. Traz a evolução histórica dessa tecnologia, trata da ideia de geração distribuída, aborda a legislação pertinente, explica o efeito fotovoltaico, os tipos de células solares, as características elétricas dos módulos solares, as formas de associação dos painéis, a importância da sua orientação espacial. Por fim apresenta um esquema de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede de energia elétrica.

No Capítulo 3 é desenvolvido o projeto. Começa com uma introdução explicado as etapas seguintes. É especificado o local do projeto, feito o levantamento do recurso solar disponível, estipulada a potência instalada e, então, são apresentados a escolha dos componentes do projeto e o levantamento do custo financeiro.

O Capítulo 4 apresenta a análise econômica do projeto. Começa explicando o sistema de bandeiras tarifárias adotado no Brasil, são apresentadas estimativas de geração de energia anual, é estimado o tempo de retorno do investimento, que é comparado com o investimento do mesmo montante de capital aplicado na poupança.

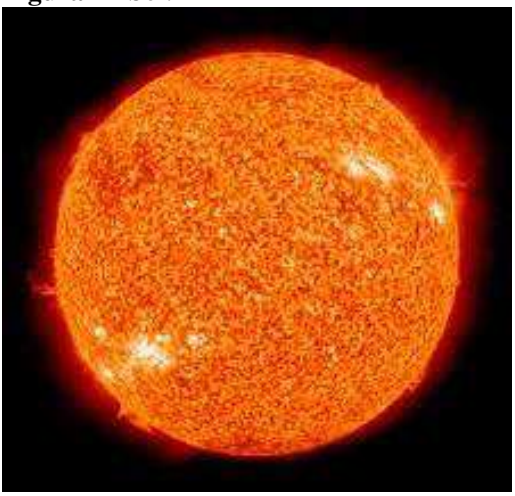
O Capítulo 5 apresenta a conclusão do trabalho, discute-se se os objetivos foram atingidos e traz sugestões para futuros trabalhos.

2 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

2.1 Recurso Solar

O sol é a estrela central do nosso sistema planetário. Foi formado a cerca de 4,57 bilhões de anos e é caracterizado como uma enorme esfera de gás incandescente (NASA, 2018). Sua energia é gerada por reações termonucleares ocorridas em seu núcleo. Essas reações basicamente fundem núcleos de hidrogênio em núcleos mais pesados de Hélio. Uma fração da massa envolvida na reação é transformada em energia, quantificada pela famosa formula deduzida por Albert Einstein $E = mc^2$, a qual informa que a energia é igual à massa vezes a velocidade da luz ao quadrado (USP, 2018). Estima-se que o sol tenha reserva de combustível suficiente para alimentar suas reações nucleares por mais 5 bilhões de anos (NASA, 2018). No sol, a energia gerada no núcleo é transferida por irradiação e convecção para as camadas superiores de sua estrutura, até as suas camadas mais externas. Então, esta energia é liberada para o espaço livre na forma de ondas eletromagnéticas. Parte dela viaja por cerca de oito minutos à velocidade da luz e chega à Terra, penetra na atmosfera terrestre, interage com ela e então atingem a superfície do planeta (PINHO e GALDINO, 2014).

Figura 1 - Sol.



Fonte: NASA, 2015.

No ambiente terrestre todas as forma de energia com poucas exceções (nuclear e geotérmica), são derivadas direta ou indiretamente da energia solar. A energia da matéria orgânica presente nas ligações químicas foram sintetizadas a partir da energia solar através de reações de fotossíntese. A energia gerada por hidroelétricas depende do ciclo das águas que, por sua vez, utiliza-se da energia solar para a evaporação. A geração de energia eólica depende dos ventos, que tem por origem as diferenças de pressão e temperatura ocasionadas pela energia solar. As principais formas de utilização direta da energia solar são o aquecimento solar e a geração fotovoltaica (VILLALVA, 2015).

O fluxo de energia do sol sobre a Terra é denominado de irradiação solar, expresso em $W.h/_{m^2}$. Já o fluxo de potência do sol sobre a Terra é denominado de irradiância solar e pode ser expresso em $W/_{m^2}$. A irradiação média ao longo de um período, dia, mês ou ano é o parâmetro mais importante para o dimensionamento de sistema fotovoltaico. Os valores de irradiação e irradiância no topo da atmosfera são obtidos por satélites espaciais. Os valores na superfície da Terra são obtidos por equipamentos no solo que formam as estações de medição solares. Essas estações podem ser formadas por equipamentos como um piranômetro, que consiste em uma redoma de vidro que capta a radiação global do ambiente, e um pireliômetro, onde o sensor sensível a luz se encontra no fundo de um tubo estreito permitindo a captação apenas da radiação direta. Também existem estações de custo mais baixo formadas por sensores baseados em células fotovoltaicas. Estas captam uma faixa mais estreita do espectro solar e não são capazes de distinguir radiação direta e difusa (PINHO e GALDINO, 2014).

Figura 2 – Piranômetro.

Fonte: PINHO, 2014.

Figura 3 – Pireliômetro.

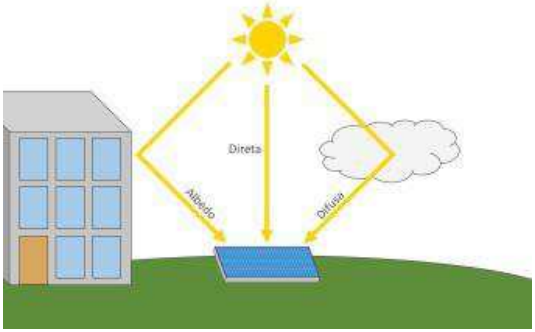
Fonte: PINHO, 2014.

A radiação média anual no topo da atmosfera terrestre recebe o nome de constante solar e tem o valor de 1367 $W/_{m^2}$. Ao penetrar a atmosfera terrestre essa radiação sofre alterações em suas características. Essa interação depende da espessura de atmosfera, a qual varia conforme a região de localização terrestre. Exemplo dessas interações são a absorção da faixa de ultravioleta pelo ozônio que protege o planeta dos efeitos nocivos à saúde e de ondas inferiores a 300 nm pelo dióxido de carbono, que gera o efeito estufa no planeta (PINHO e GALDINO, 2014). A radiação, ao penetrar a atmosfera, sofre uma perda de fluxo de potência de cerca de 27% da irradiação que atinge o topo da atmosfera. Estima-se que a potência total média disponibilizada pelo sol na superfície da Terra

seja de 94000 TW, resultando numa irradiação média de $1000^{W}/_{m^2}$ na superfície. Esse é o valor considerado padrão pela indústria para a especificação da potência nominal de células fotovoltaicas (PINHO e GALDINO, 2014).

A radiação que chega à superfície de uma placa fotovoltaica é composta pela componente direta e a difusa. A componente direta é parte que atravessa atmosfera. A componente difusa é proveniente de todas as direções, devido ao espelhamento da radiação pela atmosfera terrestre. Ainda é adicionada à composição uma componente gerada pela reflexão dos objetos próximos, cujo coeficiente de reflexão é denominado albedo (PINHO e GALDINO, 2014).

Figura 4 - Componentes da Radiação solar

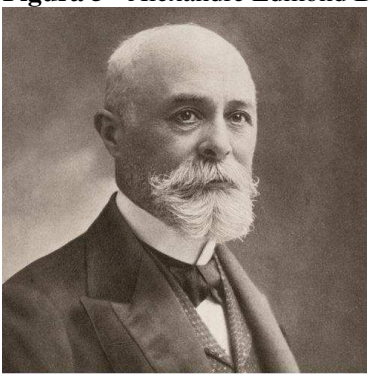


Fonte: PINHO 2014

2.2 História e Primeiras Aplicações

A primeira experiência científica a observar o efeito fotovoltaico foi efetuada em 1839 pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel. Becquerel observou que placas metálicas de platina ou prata, mergulhadas em solução ácida, produziam uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz (IST, 2018).

Figura 5 - Alexandre Edmond Becqurel.



Fonte:http://restartsolar.com/home-solar-panelinstallation/alexandre-edmond-becquerel/.

Em 1887 dois norte-americanos, W. G. Adams e R. E. Day, desenvolveram o primeiro dispositivo sólido de produção de eletricidade por efeito fotovoltaico. Tratava-se de um filme de selênio depositado num substrato de ferro. Tinha a eficiência de conversão de apenas 0,5% e foi utilizado como fotômetro em máquinas fotográficas (VALLÊRA E BRITO, 2006).

A primeira célula solar de silício dopado desenvolvida com o objetivo de produção de energia elétrica foi produzida pelo físico Gerald Pearson que trabalhava para o Bell Laboratories (Bell Labs). Essa primeira célula solar de silício tinha a eficiência de cerca de 4%. Geral Person, junto a outros colegas do Bell Labs, aprimoraram essa primeira célula solar, levando sua eficiência a 6%. Depois do Pentágono ter autorizado a sua publicação, a primeira célula solar foi apresentada na reunião anual da National Academy of Sciences, em Washington, e anunciada numa conferência de imprensa no dia 25 de Abril de 1954. A

primeira aplicação de células solares foi realizada em Americus, no estado da Geórgia, para alimentar uma rede telefônica local. O painel solar foi montado em outubro de 1955 e removido em Março de 1956. Naquele momento, a utilização desse tipo de energia não obteve sucesso devido ao seu alto custo (VALLÊRA E BRITO, 2006).

Figura 6 - Primeiro Painel Solar.

Fonte: BELL LABS, 1955.

As primeiras aplicações bem sucedidas se restringiram a produção de energia em satélites espaciais. O primeiro satélite artificial equipado com painéis solares como sistema de *back-up* de uma bateria convencional foi o Vanguard 1, lançado pela NASA em 17 de março de 1958. Durante a missão, a pilha eletroquímica falhou e os painéis fotovoltaicos mantiveram o satélite operante por 8 anos. Depois desta demonstração de confiabilidade, a NASA adotou as células solares como fonte de energia em seus satélites. Essa opção foi também seguida pelo programa espacial soviético. A corrida espacial na década de 60 trouxe inúmeros avanços na tecnologia dos painéis solares. Mas foi somente na década de 70, com a crise energética, que a energia fotovoltaica voltou a ser vista como uma opção para aplicações terrestres (VALLÊRA E BRITO, 2006).

Figura 7 – Satélite Artificial Vanguard 1.

Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Vanguard_1#/media/File:Vanguard_1.jpg.

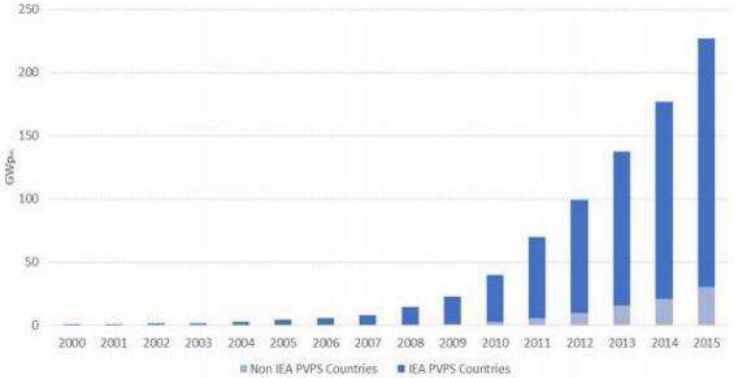
No início da década de 70 eclodiu a chamada crise de energia, provocada pelo embargo dos países membros da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) e de golfo pérsico à distribuição de petróleo. Isso quadruplicou o preço do barriu do petróleo em 1973 e ascendeu a busca por fontes alternativas e renováveis de produção de energia, dentre elas a geração fotovoltaica.

Nas décadas seguintes, com a crescente preocupação com os efeitos negativos das fontes de energias convencionais sobre o planeta, como poluição a níveis prejudiciais à saúde, alterações climáticas e ambientais, dentre outras, se intensificaram as pesquisas e investimentos em fontes de energia não poluidoras e renováveis, como a fotovoltaica.

No início da década de 90, em parte impulsionados pelo compromisso com a redução de CO2 previsto no Protocolo de Kyoto, alguns países criaram programas de incentivo para a produção desse tipo de energia, como o programa “Telhado solares” na Alemanha e no Japão (RÜTHER, 2004). Tais programas tiveram grande influência na criação do mercado de energia fotovoltaica ao reduzirem os custos e demostrarem o potencial e a viabilidade dessa tecnologia na produção de energia elétrica. Surgiram ainda projetos de geração centralizadas que consiste em grandes usinas de geração fotovoltaica conectadas à rede de transmissão de energia.

Nos anos 2000, houve um expressivo aumento na capacidade instalada mundial devido aos avanços tecnológicos e, principalmente, a incentivos governamentais. Entre 2000 e 2015 a taxa de crescimento anual de geração fotovoltaica foi de aproximadamente 41%, atingindo a capacidade total instalada 227 GWp em 2015 (IEA, 2018).

Figura 8 - Crescimento de Geraçao Fotovoltaica Munidal.



Fonte: IEA, 2018.

No Brasil, até a década de 90, a energia fotovoltaica restringiu-se à pesquisa em poucos centros universitários. Em 1994, o governo federal criou o programa PRODEEM (Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios). O objetivo era promover a eletrificação rural com utilização principalmente de sistemas fotovoltaicos isolados. Na época foram adquiridos mais de 8500 sistemas (PINHO e GALDINO, 2014).

Em 2003 surge o Programa Nacional de Universalização do acesso e Uso da Energia Elétrica – Programa Luz para Todos, que tinha como objetivo levar energia elétrica a todos os domicílios e estabelecimentos no meio rural. O foco do programa era principalmente a ampliação da rede, mas também contemplou a utilização de sistemas fotovoltaicos nas localidades de difícil acesso (PINHO e GALDINO, 2014).

O primeiro sistema fotovoltaico conectado à rede de energia no Brasil foi instalado em 1995 pela Chesf (Companhia Hidroelétrica do São Francisco) em sua rede em Recife. Mas só foi possível o surgimento de sistemas de geração distribuída associados à unidade consumidora a partir da resolução normativa nº 482, de 2012 (PINHO e GALDINO, 2014).

2.3 Geração Distribuída

Existem dois tipos de geração de energia: a geração centralizada e a geração distribuída.

A geração centralizada consiste na forma tradicional de geração de energia elétrica. Uma usina de grande porte conectada ao sistema de energia.

A geração distribuída é uma forma mais moderna e simples de sistema de geração de energia elétrica. Consiste na ideia de produção de energia por pequenas fontes próximas às cargas. Os benefícios da GD são a redução de investimentos em infraestrutura, aumento da estabilidade e da confiabilidade do sistema e diminuição das perdas de transmissão de energia.

Figura 9 - Exemplo de Geraçao Distribuída.

Fonte: https://www.portalsolar.com.br/o-que-e-geracao-distribuida.html.

2.4 Legislação

A Resolução Normativa nº 482/2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), de 17 de abril de 2012, posteriormente alterada pela resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015, estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências (ANEEL, 2018).

A resolução estabelece como microgeração e minigeraçao central geradora com potência instalada menor ou igual 75 kW e entre 75 KW a 5 MW, respectivamente, e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2018).

Cria o sistema de compensação de energia chamado de *net-metering,* no qual injeta-se a energia produzida na rede gerando um crédito de energia. Esse crédito tem validade de 60 meses e pode ser abatido no consumo da própria unidade geradora ou de outra do mesmo titular.

A Resolução Normativa nº 687/2015 criou a possibilidade da geração distribuída em condomínios. Nesse caso, o crédito gerado pode ser divido entre os condôminos em porcentagem estabelecida pelos próprios consumidores. Também existe a possibilidade da geração compartilhada, que possibilita a união de interessados em consórcios ou em cooperativas, instalando micro ou minigeração distribuída, criando crédito para redução das faturas dos consorciados ou cooperados.

2.5 O Efeito Fotovoltaico

Em um dispositivo semicondutor, a junção P-N consiste na região de fronteira entre uma parte dopada do tipo P e outra dopada do tipo N. O efeito fotovoltaico consiste na geração de energia elétrica a partir de energia solar, que ocorre devido à geração de tensão elétrica numa junção P-N exposta à luz em um dispositivo semicondutor (MALVINO, 2016).

Os materiais semicondutores têm estrutura cristalina e são formados por elementos tetravalentes como Carbono, Silício, Germânio, Arsênio, Fósforo, Selênio e Telúrio. Possuem condutividade elétrica intermediária entre condutores e isolantes. Na rede cristalina de um material semicondutor podem ser adicionadas impurezas, as quais são compostas por elementos trivalentes ou pentevalente (MALVINO, 2016).

Quando se adiciona um elemento trivalente, gera-se uma região dopada do tipo P, que basicamente é uma região com portadores de carga positiva, chamados de lacuna. A região dopada por elemento pentavalentes possui portadores de carga negativas (elétrons livres). Esses portadores de cargas podem se mover livremente no material. Cabe dizer que as lacunas se localizam na banda de valência e os elétrons livres na banda de condução do material. Como esses portadores podem se mover, devido a atração elétrica, os elétrons livres da região N se movem em direção à região P. Logo que entra na região P, o elétron livre se combina com uma lacuna, diz-se que ele cai na lacuna, pois a lacuna se encontra na banda de valência de menor energia do que a banda de condução. Essa combinação gera um íon positivo na região N e um íon negativo na região P. Os íons ficam fixos na estrutura do cristal em virtude das ligações covalentes. Esses pares de íons são chamados de dipolos (MALVINO, 2016).

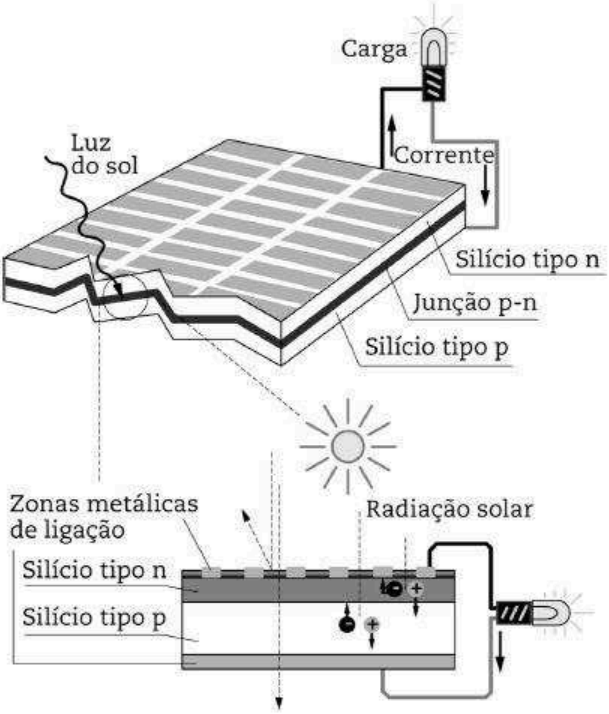
Os dipolos criam um campo elétrico contrário ao fluxo de elétrons. Conforme aumenta o número de combinações, o campo elétrico é amplificado até que se atinja um equilíbrio no material. Quando isso acontece, interrompe-se a recombinação de cargas. Nesse momento, os elétrons livres da região N não possuem energia suficiente para vencer o campo elétrico gerado pelos dipolos. A região vazia de portadores de carga em decorrência da combinação dos mesmos denomina-se camada de depleção. Essa camada atua como uma barreira de energia. Pode ser vencida por uma fonte de tensão externa, com tensão maior que a da barreira. A fonte fornece energia para que os elétrons livres vençam a

camada de depleção. Se a polarização da fonte fosse aplicada no sentido inverso, a camada de depleção seria aumentada, impedindo o fluxo de cargas, até um certo limite. Essa é a descrição do funcionamento de um diodo (MALVINO, 2016).

Durante a polarização direta, a fonte alimenta as recombinações dos portadores, ou seja, a queda dos elétrons livres nas lacunas as quais estão na banda de valência de menor energia. Essa queda ocorre com liberação de energia na forma de calor ou luz dependo das propriedades e dimensões do material. No caso de liberação de luz o dispositivo funciona como um LED (*Light Emitting Diode*).

Uma célula fotovoltaica é em princípio um LED de grande área funcionando de maneira inversa, sou seja, consiste de fótons incidindo na junção do dispositivo, gerando pares elétron-lacuna. Nesse caso, a corrente é de sentido oposto ao da polarização direta de um LED.

Figura 10 - Junção P-N de Uma Célula Fotovoltaica.



Fonte: ZILLES, 2012.

2.6 Célula Fotovoltaica

É o elemento fundamental da geração de energia fotovoltaica. Constitui-se de um dispositivo semicondutor, único, otimizado para a capitação de fótons e geração de energia elétrica. “As células fotovoltaicas mais utilizadas são capazes de gerar na máxima potência, numa condição de sol de 1.000 $W/_{m^2}$ e temperatura de célula de 25°C, uma corrente da ordem de 32 $mA/_{cm^2}$, ou seja, cada uma gera uma corrente entre 1,5A (50 cm^2) e 4,5A (150 cm^2) numa tensão entre 0,46V e 0,48V” (ZILLES, 2012). As células são associadas em série e paralelo, com o objetivo de atingirem valores de tensão, corrente e potência desejados. São então montadas e encapsuladas formando um único dispositivo chamado módulo ou painel fotovoltaico. Atualmente os módulos são classificados em três categorias: primeira, segunda e terceira geração (PINHO e GALDINO, 2014).

Primeira geração;

São compostas por células de silício cristalino (c-Si): monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si). São os tipos de células mais utilizadas atualmente, correspondendo a mais de 87% do mercado mundial. São as mais eficientes na conversão de energia, em torno de 16,5% para células monocristalino e 14,5% para células policristalinas (PINHO e GALDINO, 2014).

Segunda geração:

Conhecidas como células de filme fino compostas por silício amorfo (a-Si), telureto de cádmio (CdTe), disseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS e CIGS). Correspondem a cerca de 12% do mercado mundial. São chamadas de filme finos por possuírem espessura muito mais finas que as de primeira geração. Possuem menor custo de produção porem menor eficiência (5-11%). Com exceção das células de silício amorfo, são constituídas de materiais tóxicos, raros ou ambos (PINHO e GALDINO, 2014).

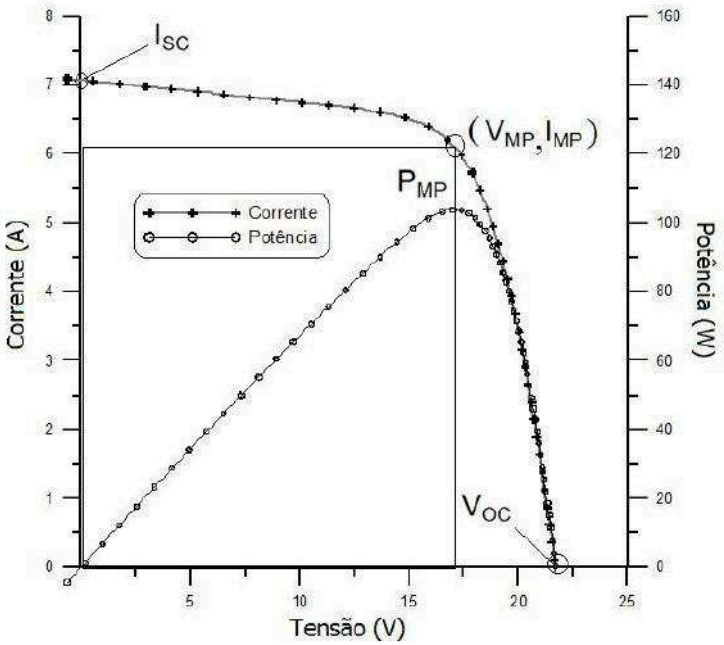
Terceira geração:

São conhecidas por células sensibilizadas por corante. Esses dispositivos não funcionam pelo mesmo princípio das células fotovoltaicas. Seu princípio de funcionamento é denominado fotoeletroquímico. Os processos de fabricação são de baixo custo, porém esses dispositivos ainda não atingiram valores de eficiência e durabilidade compatíveis com aplicações comercias (PINHO e GALDINO, 2014).

2.7 Características Elétricas dos Módulos

A figura 11 mostra a curva I-V de um módulo fotovoltaico submetido a ensaio sobre condições padrões (irradiância $1000^{W}/_{m^2}$ temperatura 25°C).

Figura 11- Curva Característica I-V e Curva P-V para um Módulo com Potência Nominal de 100Wp.

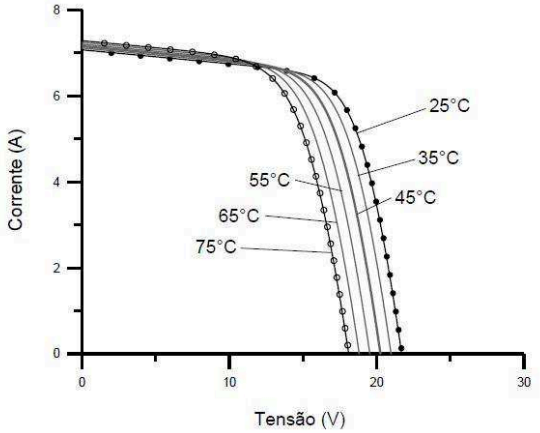


Fonte: PINHO, 2014.

Isc: corrente de curto-circuito
Voc: tensão de circuito aberto
Vmp; tensão de máxima potência
Imp: corrente de máxima potência
Pmp: ponto de máxima potência

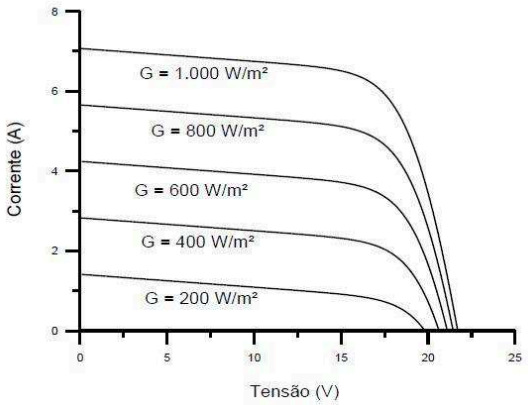
Essa curva é influenciada por efeitos externos principalmente pela temperatura e irradiância, como mostram as figuras 12 e 13.

Figura 12 - Efeito Causado pela Variação de Temperatura.



Fonte: PINHO, 2014.

Figura 13 - Efeito Causado pela Variação de Irradiância.



Fonte: PINHO, 2014.

Como se pode notar, o aumento da temperatura, assim como a diminuição da irradiância degradam a eficiência do painel. A modificação da curva I-V tem como consequência a mudança do ponto de máxima potência. Para cada condição de operação tem-se um ponto diferente de máxima eficiência.

2.8 Associação de Módulos

Assim como um módulo é formado por células em série e paralelo, os módulos também podem ser associados para fornecerem os valores desejados de corrente, tensão e potência para a adequada conexão com outros componentes, como o inversor de frequência (PINHO e GALDINO, 2014).

- Associação em série:

Na associação em série, o terminal positivo de um modulo é conectado ao terminal negativo do modulo seguinte. Nessa associação, a tensão total do conjunto é a soma das tensões individuais de cada módulo. A corrente do conjunto é a mesma que circula em cada módulo individual. A potência do conjunto é soma individual das potências dos módulos.

A associação série dos módulos traz algumas preocupações com o funcionamento do sistema fotovoltaico. Se um dos módulos estiver gerando um valor menor de corrente que o desejado, a corrente de toda essa série de módulos estará limitada a esse valor. Isso pode ocorrer

devido a um defeito do módulo ou por alguma limitação, como sombreamento ou sujeira no modulo em questão. Isso limita de forma significativa a geração de energia. Nesse caso, a corrente excedente gerada pelos outro módulos será dissipada no modulo problemático podendo danificá-lo de forma permanente.

Com o objetivo de evitar esse problema, pode-se adicionar um diodo de desvio ou *"by-pass"*.
Esse diodo é ligado em paralelo ao modulo fornecendo um caminho alternativo para a corrente do circuito, evitando a passagem de corrente excedente (PINHO e GALDINO, 2014).

- Associação em paralelo:

Na associação em paralelo os terminais positivos de cada um dos módulos são ligados entre si, da mesma forma que acontece com os terminais negativos. Como resultado, tem-se a que a tensão do conjunto é a mesma dos módulos individuas e a corrente é a soma das correntes em cada um dos módulos.

No caso da associação paralelo dos módulos, é necessário garantir que a tensão de cada módulo seja a mesma. Caso contrário, um módulo que esteja funcionando a uma tensão mais elevada ocasionará um fluxo de corrente nos módulos de menor tensão.

Para evitar esse efeito é adicionado um diodo em série ao módulo chamado diodo de bloqueio. Esses diodos também evitam o descarregamento das baterias nos módulos em sistemas fotovoltaicos isolados (PINHO e GALDINO, 2014).

2.9 Orientação dos Módulos

Para a máxima geração de energia possível é necessário que os raios solares incidam perpendicularmente aos painéis fotovoltaicos. Existem sistemas, como em usinas de grande porte, onde os paineis possuem complexos mecanismos de rastreamento solar chamados seguidores solares. Esses sistemas podem ser de um ou dois graus de liberdade. Em um sistema com dois graus de liberdade, os painéis são capazes de acompanhar os dois principais movimentos relativos do sol, sua inclinação em relação ao norte geográfico, que varia conforme a progressão das horas do dia, e sua inclinação em relação à linha do equador, que varia conforme à translação da terra em torno do sol durante o decorrer do ano. Assim, um painel com sistema de rastreamento sempre recebe incidência solar direta de forma perpendicular, obtendo a máxima

geração possível de energia (VILLALVA, 2015). Já um sistema com um grau de liberdade “segue” o sol apenas durante o dia, tendo performance variada durante o ano, mesmo assim apresentando um ganho em relação a painéis fixos.

Figura 14 - Módulos com Seguidor Solar.

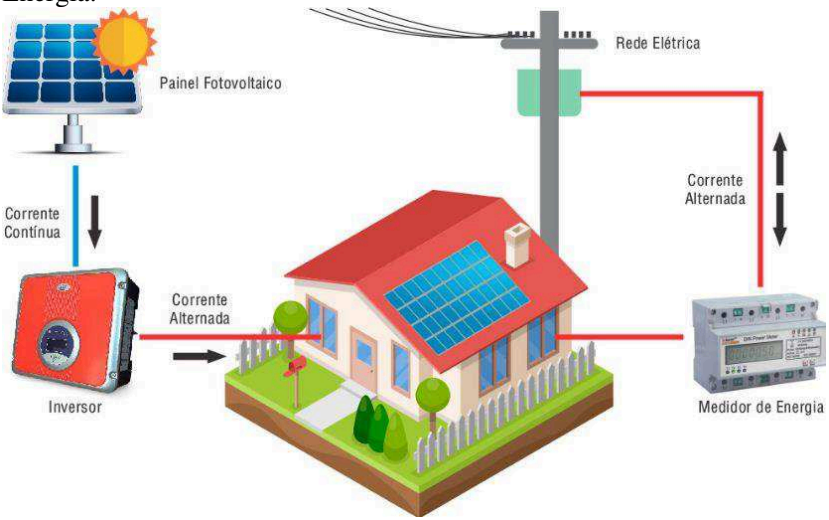
Fonte: http://www.macfort.com.br/noticia/energiasolarfotovoltaica/.

Em uma aplicação residencial, o custo de um sistema de rastreamento automático é proibitivo, o que torna necessária a escolha de uma posição fixa para a instalação dos módulos. Essa escolha deve ser feita de modo a privilegiar as posições solares que fornecem maiores índices de radiação. As posições ótimas para a instalações de painéis variam com a latitude da localização da instalação e podem ser obtidas com a ajuda de softwares ou tabelas fornecidas por fabricantes de painéis solares.

2.10 Sistema Fotovoltaico Residencial

Além dos módulos, um sistema fotovoltaico residencial possui outros componentes essenciais para seu funcionamento. A figura 15 ilustra um sistema residencial conectado à rede elétrica.

Figura 15 - Sistema Fotovoltaico Residencial Conectado à Rede de Energia.



Fonte: http://geracao.grupoenergisa.com.br/paginas/nossos negocios/solar.aspx.

O sistema é composto por:

- Painéis fotovoltaicos

  Podem ser combinados em série ou em paralelo, para que o sistema atinja os níveis de potência, tensão e corrente desejados.

- Inversor

  Converte a tensão contínua fornecida pelos painéis em tensão alternada nos níveis da rede elétrica.

- Medidor bidirecional

  Mede tanto a energia consumida da rede elétrica publica como à gerada pela sistema fotovoltaico.

3 PROJETO

3.1 Introdução

No presente capítulo é feito o estudo de viabilidade para a instalação de uma unidade de geração fotovoltaica residencial. São apresentadas as etapas de um projeto, especificado o local escolhido para a instalação, estimada sua demanda de energia elétrica, feito o levantamento de disponibilidade de energia solar, determinada a potência instalada e, finalmente, feita a escolha dos componentes e consequente previsão dos custos envolvidos.

3.2 Etapas do Projeto

Na primeira etapa do projeto é estimada a potência instalada desejada pelo proprietário do imóvel. Como se trata de um sistema conectado à rede, não é necessário que o sistema supra toda a demanda de energia da residência. Por estar conectado à rede básica de distribuição de energia elétrica, a energia excedente pode ser fornecida ao sistema e compensada seguindo as regras do sistema de geração distribuída estabelecidas pela concessionária. Ainda, é analisado o recurso solar disponível no local da instalação do sistema, a área disponível para instalação dos módulos e a orientação dos mesmos.

Após esse estudo, pode-se fazer uma análise para calcular uma estimativa de geração e obter o tempo de retorno do investimento do projeto.

O projeto segue as seguintes etapas:

1. Especificação do local escolhido e análise da demanda de energia;
2. Especificação da potência instalada do sistema fotovoltaico;
3. Levantamento do recurso solar disponível no local;
4. Definição da configuração do sistema;
5. Dimensionamento dos componentes do sistema;
6. Levantamento dos custos e valor final do projeto;

3.3 Especificação do Local Escolhido e Análise da Demanda de Energia

A residência escolhida para a instalação do sistema está localizada na Rua Benedito Novo, bairro Floresta, no município de Joinville, Santa Catarina.

Figura 16 - Vista do Local de Residência de Instalação do Sistema.

Fonte: Google Maps, com adaptação do autor.

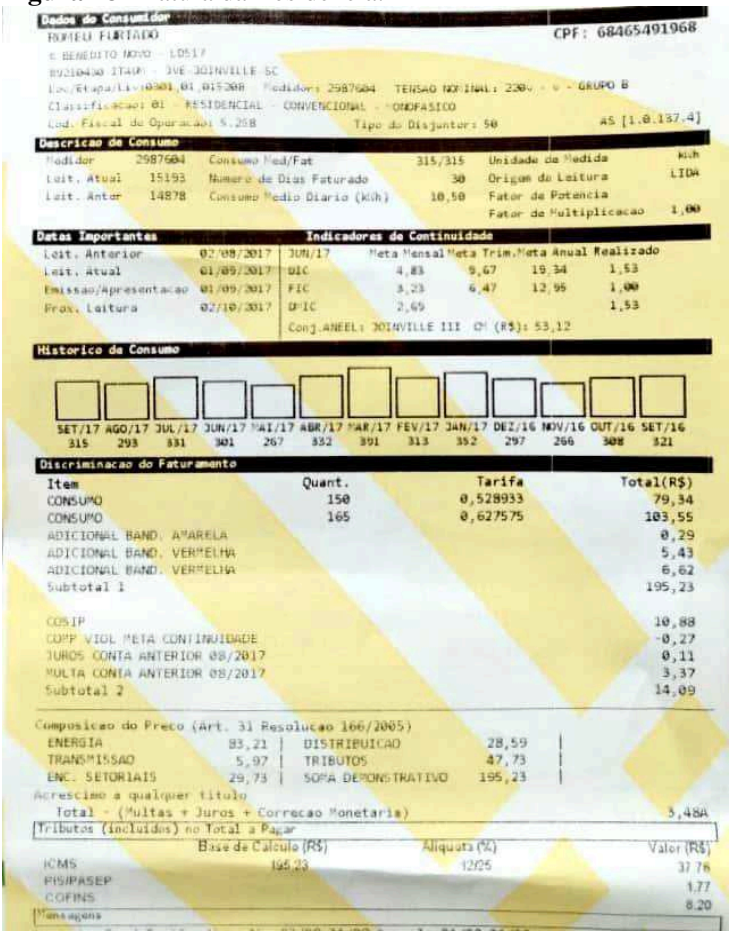
Figura 17 - Detalhe da Residência de Instalação do Sistema.

Fonte: Google Maps, com adaptação do autor.

A figura 17 mostra em destaque a residência na qual deverá ser instalado o sistema. Nota-se que não existem edificações altas nas imediações que poderiam causar sombreamento sobre os painéis. A casa

está orientada na direção noroeste, o que favorece a incidência dos raios solares e consequentemente, torna viável geração elétrica dos painéis. A figura 18 mostra uma foto da conta de luz da residência.

Figura 18 - Fatura da Residência.



Dados do Consumidor

ROMEU FURTADO — CPF: 68465491968

C BENEDITO NOVO - LD517

89210430 ITAIPE - JVE-JOINVILLE SC

Loc/Etapa/Lv:0301.01.015308 Medidor: 2987604 TENSAO NOMINAL: 220v - G - GRUPO B

Classificacao: 01 - RESIDENCIAL - CONVENCIONAL - MONOFASICO

Cod. Fiscal de Operacao: 5.258 Tipo do Disjuntor: 50 AS [1.0.137.4]

Descricao de Consumo

Medidor	2987604	Consumo Med/Fat	315/315	Unidade de Medida	kWh
Leit. Atual	15193	Numero de Dias Faturado	30	Origem da Leitura	LIDA
Leit. Anter	14878	Consumo Medio Diario (kWh)	10,50	Fator de Potencia	
				Fator de Multiplicacao	1,00

Datas Importantes

Leit. Anterior	02/08/2017
Leit. Atual	01/09/2017
Emissao/Apresentacao	01/09/2017
Prox. Leitura	02/10/2017

Indicadores de Continuidade

JUN/17	Meta Mensal	Meta Trim.	Meta Anual	Realizado
DIC	4,83	9,67	19,34	1,53
FIC	3,23	6,47	12,95	1,00
DMIC	2,65			1,53

Conj.ANEEL: JOINVILLE III CM (R$): 53,12

Historico da Consumo

SET/17	AGO/17	JUL/17	JUN/17	MAI/17	ABR/17	MAR/17	FEV/17	JAN/17	DEZ/16	NOV/16	OUT/16	SET/16
315	293	331	301	267	332	391	313	352	297	266	308	321

Discriminacao do Faturamento

Item	Quant.	Tarifa	Total(R$)
CONSUMO	150	0,528933	79,34
CONSUMO	165	0,627575	103,55
ADICIONAL BAND. AMARELA			0,29
ADICIONAL BAND. VERMELHA			5,43
ADICIONAL BAND. VERMELHA			6,62
Subtotal 1			195,23
COSIP			10,88
COMP VIOL META CONTINUIDADE			-0,27
JUROS CONTA ANTERIOR 08/2017			0,11
MULTA CONTA ANTERIOR 08/2017			3,37
Subtotal 2			14,09

Composicao do Preco (Art. 31 Resolucao 166/2005)

ENERGIA	83,21	DISTRIBUICAO	28,59
TRANSMISSAO	5,97	TRIBUTOS	47,73
ENC. SETORIAIS	29,73	SOMA DEMONSTRATIVO	195,23

Acrescimo a qualquer titulo

Total - (Multas + Juros + Correcao Monetaria) 3,48A

Tributos (Incluidos) no Total a Pagar

	Base de Calculo (R$)	Aliquota (%)	Valor (R$)
ICMS	195,23	12,25	37,76
PIS/PASEP			1,77
COFINS			8,20

Mensagens

Fonte: Arquivo pessoal.

A unidade consumidora residencial é monofásica e, segundo a Resolução Normativa 414 de 2010, o valor mínimo a ser pago neste caso é o equivalente a 30 kWh ao mês.

Com os dados obtidos a partir da fatura de energia elétrica mostrada na figura 18, tem-se, para o período de um ano a partir de outubro de 2016, os seguintes valores de consumo em kWh: 308, 266, 297, 352, 313, 391, 332, 267, 301, 331, 293 e 315, o que dá um total acumulado em setembro de 2017 de 3766 kWh.

De acordo com a supracitada resolução normativa da ANEEL, multiplica-se o consumo mínimo cobrado pelos doze meses e se obtém o valor de 360 kWh.

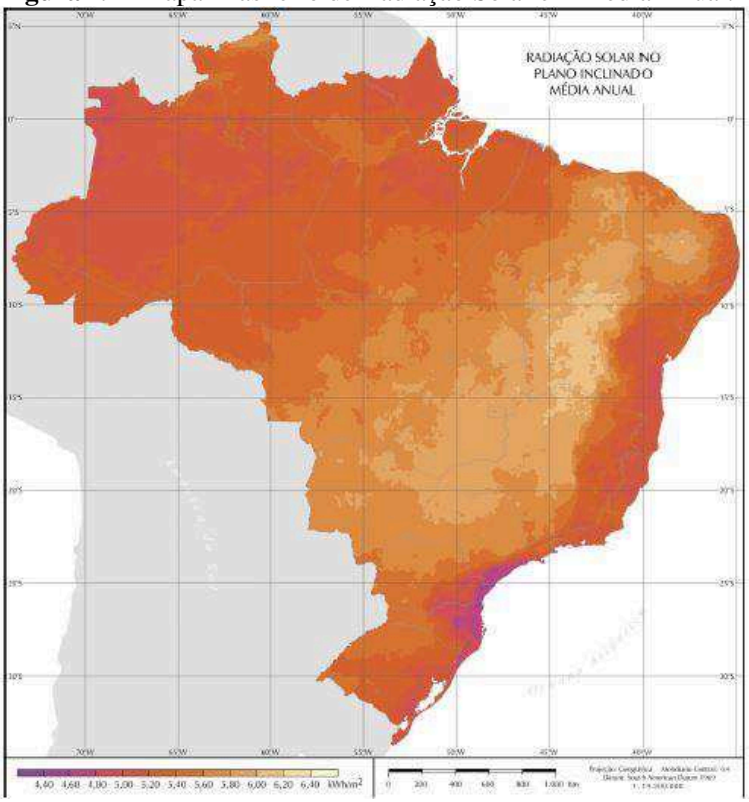
Descontando-se do consumo anual total esse consumo mínimo faturado, independentemente de ocorrer ou não, obtém-se o saldo de 3406 kWh.

Assim sendo, com base no período de consumo analisado, para que o sistema supra a demanda anual de energia para essa residência, ela deve gerar energia superior a esse valor ao longo do ano.

3.4 Levantamento do Recurso Solar Disponível no Local

O mapa da figura 19 mostra a média anual do total diário de irradiação solar global incidente no território brasileiro.

Figura 19 - Mapa Brasileiro de Radiação Solar em Média Anual.



Fonte: PERREIRA, 2006.

Tomando o valor da radiação solar na região de Joinville, tem-se uma média diária de irradiação na de 4,60 $^{KWh}/_{m^2}$.dia. Isso é equivalente a 4,6 horas diárias de irradiação ao valor padrão de 1000 $^{W}/_{m^2}$ usado pelos fabricantes de painéis para ensaios dos mesmos.

3.5 Especificação da Potência Instalada do Sistema

Para este sistema fotovoltaico a intenção é suprir a demanda anual de energia da residência, no caso, 3406 kWh. A fim de atingir uma potência instalada que supra a demanda, divide-se esse valor (3406 kWh) pelo número de dias do ano (365) e, após, pelo número de horas de sol pleno (4,6 h). Isso resulta em uma potência de 2,028 kW.

Então conforme os cálculos, o sistema fotovoltaico deverá ter uma potência instalada de 2,028 kW para suprir a demanda de energia anual da residência analisada. O cálculo não leva em consideração as perdas dos componentes do sistema. Por esse motivo, arredonda-se esse valor para 2,5 kW e assume-se um sistema com potência instalada de 2,5 kW, que deverá atender a demanda e as perdas estimadas.

3.6 Escolha dos Componentes e Estimativas dos Custos do Sistema

Para a escolha dos componentes foram feitas buscas individuas dos componentes no mercado nacional. Porém, a escolha mais econômica encontrada foi a de um *kit* completo com 2,12 kWp contendo todos os componentes necessários para a operação (NEOSOLAR, 2018).

O *kit* é composto pelos seguinte componentes:

- 8 painéis solares fotovoltaicos Canadian CSI CS6P-265P (265Wp) ou equivalente
- 1 Inversor Fronius Galvo 2.0-1 (2.000W) com sistema de monitoramento integrado
- 2 *kit* de montagem Thesan para telhados inclinados 4 painéis
- 1 Jogo de união para perfis Thesan
- 1 quadro elétrico de proteção corrente contínua (StringBox)
- 15m de Cabo Solar Prysmian preto 4mm
- 15m de Cabo Solar Prysmian Vermelho 4mm

- 2 pares de conectores MC

A tabela 1 mostra o custo estimado do projeto.

Tabela 1 - Custos do Projeto.

Item	Preço
kit sitema solar	R$10.697,12
Frete	R$1.132,02
Serviços gerais	R$1.500,00
Total	R$13.329,14

Fonte: Elaborada pelo autor.

4 ANALISE ECONÔMICA

4.1 Bandeiras Tarifárias

O Brasil, a partir do ano de 2015, adotou o modelo de bandeiras tarifárias para fatura da conta de energia de consumidores cativos atendidos pelo SIN (Sistema Integrado Nacional).
Esse sistema de tarifa leva em conta as condições de geração de energia elétrica no país. Em condições desfavoráveis, os reservatórios das grandes usinas hidroelétricas estão baixos. Neste caso, o operador do sistema é forçado a utilizar usinas termoelétricas, que possuem custos de operação mais elevados. Para compensar os custos adicionais da produção de energia, o sistema acrescenta valores no quilowatt-hora conforme a classificação da seguinte forma:

Bandeira verde: a tarifa não sofre acréscimo.
Bandeira amarela: a tarifa sofre um acréscimo de R$ 0,010 para cada quilowatt-hora consumido.
Bandeira vermelha – patamar 1: acréscimo de R$ 0,030 para cada quilowatt-hora consumido.
Bandeira Vermelha – patamar 2: acréscimo de R$ 0,050 para cada quilowatt-hora consumido.

4.2 Estimativa de Produção de Energia

Levando em consideração o sistema de bandeira tarifárias, tem-se inúmeras possibilidades para a estimativa do valor economizado com a produção de energia. Nesta análise serão feitas estimativas usando os valores extremos de tarifa, no caso a bandeira verde e a vermelha patamar 2.

A bandeira verde possui o menor valor de energia, o que diminui a economia financeira gerada pela produção do sistema fotovoltaico. Como na bandeira vermelha os custos da energia são mais elevados, gera-se uma maior economia, tornando a geração de energia própria mais interessante pois, o tempo de retorno do investimento é reduzido.

Para a estimativa dos valores na Tabela 2 e na Tabela 3 foi considerada uma estimativa de reajuste anual na energia elétrica em 9,8% ao ano.

Tabela 2 – Estimativa de Créditos Gerados na Bandeira Verde.

Bandeira Verde				
Ano	Valor em R$ do kWh	Produção Anual kWh	Estimativa R$ por Ano	Valores Acumulados em R$
1º	R$0,46	3559,48	R$1.636,83	R$1.636,83
2º	R$0,50	3559,48	R$1.797,24	R$3.434,06
3º	R$0,55	3559,48	R$1.973,37	R$5.407,43
4º	R$0,61	3559,48	R$2.166,75	R$7.574,18
5º	R$0,67	3559,48	R$2.379,10	R$9.953,28
6º	R$0,73	3559,48	R$2.612,25	R$12.565,53
7º	R$0,81	3559,48	R$2.868,25	R$15.433,78
8º	R$0,88	3559,48	R$3.149,34	R$18.583,11
9º	R$0,97	3559,48	R$3.457,97	R$22.041,09
10º	R$1,07	3559,48	R$3.796,85	R$25.837,94
11º	R$1,17	3559,48	R$4.168,94	R$30.006,88
12º	R$1,29	3559,48	R$4.577,50	R$34.584,38
13º	R$1,41	3559,48	R$5.026,10	R$39.610,48
14º	R$1,55	3559,48	R$5.518,65	R$45.129,14
15º	R$1,70	3559,48	R$6.059,48	R$51.188,62
16º	R$1,87	3559,48	R$6.653,31	R$57.841,93
17º	R$2,05	3559,48	R$7.305,34	R$65.147,26
18º	R$2,25	3559,48	R$8.021,26	R$73.168,52
19º	R$2,47	3559,48	R$8.807,34	R$81.975,87
20º	R$2,72	3559,48	R$9.670,46	R$91.646,33

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 3 - Estimativa de Créditos Gerados na Bandeira Vermelha.

Bandeira Vermelha				
Ano	Valor em R$ do kWh	Produção Anual kWh	Estimativa R$ por Ano	Valores Acumulados em R$
1º	R$0,51	3559,48	R$1.814,80	R$1.814,80
2º	R$0,56	3559,48	R$1.992,65	R$3.807,45
3º	R$0,61	3559,48	R$2.187,93	R$5.995,38
4º	R$0,67	3559,48	R$2.402,35	R$8.397,73
5º	R$0,74	3559,48	R$2.637,78	R$11.035,51
6º	R$0,81	3559,48	R$2.896,28	R$13.931,79
7º	R$0,89	3559,48	R$3.180,12	R$17.111,91
8º	R$0,98	3559,48	R$3.491,77	R$20.603,68
9º	R$1,08	3559,48	R$3.833,96	R$24.437,64
10º	R$1,18	3559,48	R$4.209,69	R$28.647,33
11º	R$1,30	3559,48	R$4.622,24	R$33.269,56
12º	R$1,43	3559,48	R$5.075,22	R$38.344,78
13º	R$1,57	3559,48	R$5.572,59	R$43.917,37
14º	R$1,72	3559,48	R$6.118,70	R$50.036,08
15º	R$1,89	3559,48	R$6.718,34	R$56.754,41
16º	R$2,07	3559,48	R$7.376,73	R$64.131,15
17º	R$2,28	3559,48	R$8.099,65	R$72.230,80
18º	R$2,50	3559,48	R$8.893,42	R$81.124,22
19º	R$2,47	3559,48	R$8.807,34	R$89.931,56
20º	R$2,72	3559,48	R$9.670,46	R$99.602,02

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3 Retorno de Investimento

Com base nas tabelas de produção de energia, o retorno do investimento considerando a bandeira verde seria próximo a 6,5 anos e, na bandeira vermelha 6 anos. Esses são os dois casos extremos. Então, o retorno do investimento pode ser estimado entre 6 anos e 6,5 anos.

Para uma comparação pode-se simular qual seria o rendimento do valor investido no projeto se aplicado na poupança. Para essa comparação foi utilizado o rendimento acumulado no ano de 2017, de 7%.

Tabela 1 - Retorno do Capital do Projeto Aplicado na Poupança.

Investimento Poupança R$13.329,14 a 7% ao ano		
ano	rendimento	acumulado
1º	R$933,04	R$933,04
2º	R$998,35	R$1.931,39
3º	R$1.068,24	R$2.999,63
4º	R$1.143,01	R$4.142,64
5º	R$1.223,02	R$5.365,67
6º	R$1.308,64	R$6.674,30
7º	R$1.400,24	R$8.074,55
8º	R$1.498,26	R$9.572,80
9º	R$1.603,14	R$11.175,94
10º	R$1.715,36	R$12.891,30
11º	R$1.835,43	R$14.726,73
12º	R$1.963,91	R$16.690,64
13º	R$2.101,38	R$18.792,02
14º	R$2.248,48	R$21.040,50
15º	R$2.405,87	R$23.446,38
16º	R$2.574,29	R$26.020,66
17º	R$2.754,49	R$28.775,15

18º	R$2.947,30	R$31.722,45
19º	R$3.153,61	R$34.876,06
20º	R$3.374,36	R$38.250,43

Fonte: Elaborada pelo autor.

Pode-se observar que, mesmo no caso dos valores de energia da bandeira verde, os valores gerados de energia são consideravelmente superiores ao rendimento da poupança a partir do sexto ano de investimento.

5 CONCLUSÃO

O trabalho apresentou as evolução histórica da tecnologia fotovoltaica. Também descreveu o funcionamento físico da conversão fotovoltaica de energia. Assim, atingiu-se o objetivo de tratar dos conceitos básicos da energia fotovoltaica. Apesar de complexidade da tecnologia envolvida, com a descrição das etapas do projeto neste trabalho, foi notável a simplicidade de elaboração de um projeto fotovoltaico residencial classificado com microgeração distribuída.

Quanto ao aspecto financeiro, o projeto mostrou-se uma forma eficiente de economia financeira. Após o retorno do investimento inicial, a economia nos valores anuais no consumo elétrico são notavelmente superiores aos rendimentos da caderneta de poupança. Dessa forma, atingiu-se o objetivo de analisar o retorno do investimento.

Do ponto de vista técnico e ambiental, sistemas fotovoltaicos residenciais apresentam uma forma limpa e rápida para o aumento da oferta de energia no sistema elétrico.

Como sugestões para futuros trabalhos, recomenda-se o estudo do impacto da inserção em larga escala da energia fotovoltaica na rede de energia elétrica e, como segunda sugestão, estudar formas de incentivos para inserção em larga escala de sistemas fotovoltaicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. Resolução normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf /3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?Version=1.0 >
Acesso: maio 2018.

ANEEL. Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>. Acesso em: maio 2018.

ANEEL. Resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/media/files/RESOLUCAO%20NORMATIVA%20REN%20687_2015.pdf >.
Acesso em: maio 2018.

Bandeiras Tarifarias ANEEL.
Disponivel em: <http://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores/-/asset_publisher/e2INtBH4EC4e/content/bandeira-tarifaria/654800?inheritRedirect=false>
Acesso em: maio 2018.

EPE – Empresa de pesquisa energética.
Diponivel em: <http://epe.gov.br/pt>.
Acesso em: maio de 2018.

IEA – Agência Internacional de Energia.
Disponível em: <https://www.iea.org/>.
Acesso em: maio de 2018.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 4ª edição. Atlas, São Paulo, 2002.

IST, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
Disponivel em: <http://web.ist.utl.pt/palmira/solar.html>
Acesso em: maio 2018.

LUQUE, Antonio.; HEGEDUS, Steven. **Handbook of Photovoltaic Science and Engineering**. Wiley, 2003.

NEOSOLAR. Disponivel em: <https://www.neosolar.com.br/loja/gerador-solar-fotovoltaico-290-kwh-promocao.html>
Acesso em: maio 2018.

MALVINO, Albert.; BATES, david. **Eletrônica volume 1.** 8ª edição. Editora AMGH, Porto Alegre, RS, 2016.

NASA. National Aeronautics and Space Administration.
Disponivel em: <https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/sun/overview/>
Acesso em: maio 2018.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE, São Jose dos Campos, SP, 2006.

PINHO, João Tavares.; GALDINO, Marco Antônio**. Manual de engenharia par a sistemas fotovoltaicos**. Grupo de trabalho de energia solar – GTES – Cepel –CRESESB. disponível em: < http://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf >. Acesso em: 20 de Maio de 2017.

RÜTHER, Ricardo**. Edifícios Solares Fotovoltaicos**. LABSOLAR, 2004. Disponível em: < http://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf >. Acesso em: 20 de Maio de 2017.

SANTOS, Vanice.; CANDELORO, Rosana. **Trabalhos Acadêmicos:** uma orientação para pesquisas e normas técnicas. Editora Age, Porto Alegre 2006.

USP, Departamento de física nuclear.
Disponivel em: < http://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/p%C3%A1gina-de-livro/fus%C3%A3o >

Acesso em: maio 2018.

VALLÊRA, António M.; BRITO, Miguel Centeno, **Meio Século de História Fotovoltaica.** Gazeta de Física, 2006.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações.** 2 ª edição; Editora Saraiva, São Paulo, SP, 2015.

ZILLES, ROBERTO et al. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. Editora Oficina de Textos, São Paulo, SP, 2012